

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

Т.В. Шулякова, С.Н. Кандыбо

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

ЛЕКЦИЯ

**Для студентов специальностей 1-56 01 01 – Землеустройство,
1-56 01 02 – Земельный кадастр**

Горки 2009

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Т.В. Шулякова, С.Н. Кандыбо

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

ЛЕКЦИЯ

Для студентов специальностей 1-56 01 01 – Землеустройство,
1-56 01 02 – Земельный кадастр

Горки 2009

УДК 528.7 (075.8)

ББК 26.12 я7

Ш 95

Одобрено методической комиссией землеустроительного факультета 18.02.2008 (протокол №5) и научно-методическим советом БГСХА 03.04.2008 (протокол №7).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Понятие об универсальных приборах	4
2. Аналоговые фотограмметрические приборы	7
3. Аналитические фотограмметрические приборы	10
4. Обработка снимков на универсальных фотограмметрических приборах.....	15
5. Контрольные вопросы	20
Литература	20

Шулякова, Т.В., Кандыбо, С.Н

Ш 95 Универсальные стереофотограмметрические приборы: лекция. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2009. 20 с.

ISBN 978-985-467-211-3

Изложены теоретические основы и порядок обработки снимков на универсальных стереофотограмметрических приборах, предназначенных для построения геометрической модели по снимкам местности и измерения пространственного положения любой точки этой модели.

Для студентов специальностей 1-56 01 01 – Землеустройство, 1-56 01 02 – Земельный кадастр.

Таблиц 2. Рисунков 8. Библиогр. 4.

Рецензенты: В.В. ЯЛТЫХОВ, канд. техн. наук, доцент; О.В. ОРЕШНИКОВА, канд. экон. наук, доцент.

УДК 528.7 (075.8)

ББК 26.12 я7

© Т.В. Шулякова, С.Н. Кандыбо, 2009

© Учреждение образования

«Белорусская государственная

сельскохозяйственная академия», 2009

ISBN 978-985-467-211-3

ВВЕДЕНИЕ

Универсальный способ обработки снимков позволяет выполнять полный комплекс работ по составлению оригинала карты в пределах одной или нескольких стереопар. Составление плановой и высотной части карт и планов выполняют в камеральных условиях с использованием универсальных стереофотограмметрических приборов. Приборы универсального типа позволяют выполнять наблюдение и измерение пространственных координат стереоскопической модели местности с высокой точностью.

Стереофотограмметрические аналоговые приборы разных типов имеют единую принципиальную основу, но по конструкции, способам построения связок проектирующих лучей, методике построения фотограмметрической засечки и другим показателям значительно различаются между собой. С помощью таких приборов возможны также построение пространственной фототриангуляции, корректировка планов и карт, построение цифровых моделей местности, проектирование трасс дорожной сети по заданному уклону и многие другие работы.

Среди приборов универсального типа наибольшее распространение в фотограмметрическом производстве получили стереопроектор Романовского (СПР) и стереограф Дробышева (СД).

Разработка аналитических методов обработки результатов фотограмметрических измерений привела к появлению высокоточных аналитических фотограмметрических приборов (АФП), представляющих сочетание высокоточного стереокомпаратора с вычислительным устройством (компьютером). В приборах данного типа построение фотограмметрической модели производится аналитически на компьютере, а для наблюдения и измерения пространственных координат стереомодели используется стереокомпаратор.

Аналитические фотограмметрические приборы используют для решения широкого спектра задач – построения сетей пространственной фототриангуляции, сбора картографических данных для создания и обновления топографических карт с любой тематической нагрузкой, создания цифровых моделей рельефа, сбора данных для ГИС.

К числу таких приборов относятся стереоанаграф, SD2000 (Швейцария), аналитический плоттер AP (Италия, США), Traster (Франция), Planicomp (Германия), Aviolyt (Швейцария) и др.

Аналитические стереофотограмметрические приборы явились прообразами будущих цифровых фотограмметрических систем.

1. ПОНЯТИЕ ОБ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Универсальными называют стереофотограмметрические приборы, предназначенные для построения геометрической модели по снимкам местности и измерения пространственного положения любой точки этой модели для целей фотограмметрического сгущения полевого обоснования, съёмки контуров и рельефа, создания и обновления топографических и специальных карт, получения ортофотоснимков и др.

При построении геометрической модели местности по каждому снимку стереопары восстанавливается направление проектирующего луча, проходящего через изображение точки на снимке, центр проекции и точку модели.

Стереофотограмметрические приборы, в зависимости от способа установления связи между этими тремя точками, делятся на аналитические и аналоговые.

Аналитические приборы представляют собой сочетание измерительного прибора на базе высокоточного стереокомпаратора и ЭВМ. Поступающие в ЭВМ данные используются для решения уравнений связи между координатами точек снимков и местности, управления каретками измерительной системы и координаторграфа. Результаты обработки представляются в виде плана, ортофотоплана, каталога координат и высот точек.

К числу таких приборов относятся «Матра» (Франция), стереоанаграф (Россия–Украина), Aviolyt (Швейцария) и др.

Аналоговые приборы основаны на использовании достижений оптики и точной механики. В основе их конструкции лежит построение геометрической засечки оптическими, механическими или оптико-механическими средствами.

Оптические универсальные приборы имеют две и более проектирующие камеры, с помощью которых восстанавливаются связки проектирующих лучей. Геометрическая модель создается в результате пересечения соответствующих лучей в пространстве модели. Группу оптических приборов представляют мультиплексы, двойные проекторы и др.

Механические универсальные приборы имеют только две проектирующие камеры. В них оптические лучи заменены двумя механическими стержнями или линейками, вращающимися вокруг карданных центров. Рассматриваемую группу приборов представляют стереопроектор Романовского, стереограф Дробышева, стереометрограф (топокарт) (Германия).

Оптико-механические универсальные приборы имеют также две камеры. В них связка проектирующих лучей строится оптическими средствами, а геометрическая модель – при помощи двух стержней. Эту группу приборов представляет стереопланиграф (Германия) и некоторые другие приборы.

Пространственная фотограмметрическая засечка в аналоговых универсальных приборах строится с использованием двух конструктивных схем: «треугольник» и «треугольник плюс параллелограмм» (рис. 1).

Конструктивная схема «треугольник» применяется в оптических приборах и предполагает размещение центров проектирования в точках S_1 и S_2 (рис. 1), точка модели A получается в пересечении соответственных лучей a_1S_1A и a_2S_2A .

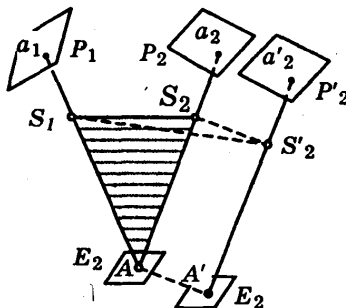


Рис. 1. Схемы засечки в универсальных приборах.

Конструктивная схема «треугольник плюс параллелограмм» применяется в приборах механического и оптико-механического типа и предполагает смещение правой связки проектирующих лучей параллельно самой в положение S'_2 . Засечка включает две фигуры: треугольник S_1S_2A и параллелограмм $S_1S'_2A'A$. Направление и величина смещения правого центра проектирования $S_2S'_2$ являются для конкретной конструкции прибора постоянными. При использовании такой

схемы непосредственного пересечения проектирующих лучей не требуется, что и позволяет заменить их металлическими стержнями.

Элементами конструкции аналоговых универсальных стереофотограмметрических приборов являются следующие технологические системы: измерительная, проектирующая, трансформирующая, наблюдательная.

Измерительная система стереоприбора предназначена для определения пространственных координат точек модели. Она включает направляющие, которые определяют пространственную систему координат, и каретки, перемещающиеся вдоль направляющих.

Проектирующая система предназначена для построения фотограмметрической модели путем восстановления связей проектирующих лучей или соответственных проектирующих лучей и осуществления по ним пространственной засечки.

Трансформирующая система предназначена для учёта смещений точек вследствие влияния углов наклона снимков.

Наблюдательная система предназначена для стереоскопического наблюдения пары снимков, наведения на точки измерительной марки и решения других задач – освещения снимков, звуковой сигнализации и т.п.

Для измерения модели местности в аналитических и аналоговых приборах оптико-механического и механического типа используют способ мнимой марки, в оптических универсальных приборах иногда применяют способ действительной марки.

Дополнительные устройства и приспособления, входящие в состав некоторых универсальных приборов, обеспечивают регистрацию результатов измерений, графическое отображение элементов создаваемой карты или плана на основе (координатографы или графопостроители), изготовление ортофотоснимков и др.

В зависимости от инструментальной точности измерений аналоговые универсальные приборы делятся на три класса:

1-й класс	$m_b/H = 1:10000\text{--}1:15000$,	$m_{\Delta p} = 10 \text{ мкм};$
2-й класс	$m_b/H = 1:6000$,	$m_{\Delta p} = 20 \text{ мкм};$
3-й класс	$m_b/H = 1:2000$,	$m_{\Delta p} = 50 \text{ мкм}.$

Инструментальная точность аналитических фотограмметрических приборов характеризуется ошибкой измерений снимков 2–5 мкм и относительной ошибкой определения высот точек 1:10000–1:30000 от высоты фотографирования.

2. АНАЛОГОВЫЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Стереограф СД – универсальный прибор механического типа второго класса точности, предназначенный для обработки плановых снимков формата 18×18 см с преобразованными связками проектирующих лучей. Стереограф выпускается с 1956 г.

Теория стереографа разработана профессором Ф.В. Дробышевым и реализована в семействе приборов СД-1, СД-1М, СД-2, СД-3 (рис. 2), УСД, ФСД и др. В 70-е гг. в конструкцию стереографа были внесены изменения, и до 1992 г. приборы выпускались, как СЦ-1 и СЦ-2.

Трансформирование точек изображения осуществляется в момент их наблюдения путем соответствующего изменения фокусных расстояний левой и правой ветвей проектирующей системы.

Аэроснимки в приборе всегда горизонтальны, размещаются в снимкодержателях 4 (рис. 2) в направлении оси Y прибора и наблюдаются через окуляры 3 неподвижной наблюдательной системы. Наклоны на углы α и ω с учетом коэффициента аффинности $C = \bar{f} / f$ получают коррекционные плоскости, на которые опираются левая и правая каретки фокусных расстояний.

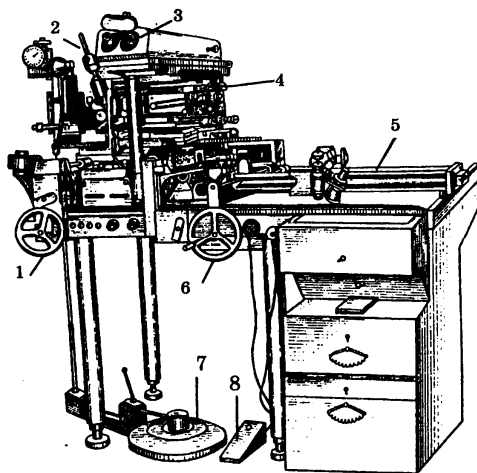


Рис. 2. Стереограф СД-3.

Перемещение измерительной марки вдоль осей X и Y прибора при наведении ее на точки с помощью ручных штурвалов 1 и 6 приводит к

перемещению базисной каретки, повороту рычагов 2 вокруг карданных центров и перемещению снимкодержателей 4.

Фотограмметрическая модель строится с помощью двух проектирующих рычагов 2, связанных подвижными карданными сочленениями со снимкодержателями, каретками фокусных расстояний и опирающихся на базисную каретку. При наведении измерительной марки на точки снимков шаровые опоры рычагов перемещаются по наклонным коррекционным плоскостям, что приводит к вертикальным смещениям кареток фокусных расстояний и к горизонтальным перемещениям снимкодержателей на величины, соответствующие смещениям точек под влиянием угла наклона.

Наведение марки по высоте выполняется ножным штурвалом 7, пишущий узел координатографа 5 поднимается и опускается ножной педалью 8 (рис. 2).

Стереопроектор СПР – высокоточный стереофотограмметрический прибор механического типа первого класса точности, выпускаемый с 1954 г. и предназначенный для составления, обновления топографических карт и построения пространственных фотограмметрических сетей по плановым аэроснимкам. Теория стереопроектора разработана профессором Г.В. Романовским и реализована в семействе приборов СПР, СПР-2 (рис. 3) и СПР-3.

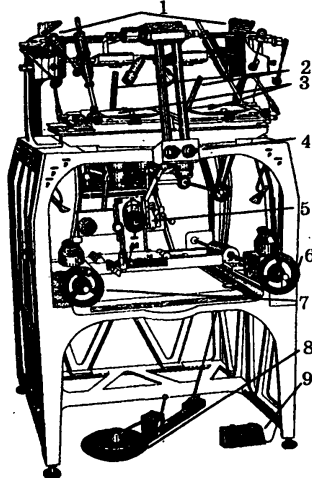


Рис. 3. Стереопроектор СПР-2.

Обработка снимков формата 18×18 см выполняется с преобразованными связками проектирующих лучей.

Снимки в каретках 3 всегда горизонтальны и наблюдаются ортогональными к ним лучами через наблюдательную систему 4 (рис. 3). Фотограмметрическая засечка строится проектирующими рычагами 2. Два коррекционных механизма 1, с помощью которых выполняется трансформирование наблюдаемых точек левого и правого снимков, автоматически определяют их смещения за наклон оптической оси съёмочной камеры и учитывают путем смещения на соответствующую величину объектива наблюдательной системы. Таким образом, учет искажений изображения выполняется в момент измерения модели местности.

Наведение измерительной марки на точки снимков выполняют путем перемещения кареток 3 вдоль координатных осей X и Y ручными штурвалами 7 и 6, совмещение её с поверхностью наблюдаемой модели – ножным штурвалом 8. Изменение величины базиса проектирования и его составляющих выполняют изменениями соответствующих установок базисной каретки 5 (рис. 3).

Отображение результатов обработки снимков (в том числе рисовка рельефа и контуров) выполняется на планшете или подключаемом к прибору координаторграфе. Управление рисовкой контуров и горизонталей осуществляется ножной педалью 9, поднимающей или опускающей пишущее устройство.

Стереометрограф – универсальный прибор механического типа первого класса точности, выпускаемый фирмой «Карл Цейс Йена» (Германия). Основное назначение прибора – составление карт средних и крупных масштабов по материалам наземной и воздушной съёмки. Некоторые модели стереометрографа осуществляют обработку снимков с подобными связками проектирующих лучей, а иные (например, модель D) – с преобразованными. Трансформирование изображений выполняется наклонами и поворотами проектирующих камер. Прибор снабжён устройствами для регистрации результатов измерений.

Автографы фирмы Wild (Швейцария) – приборы механического типа, предназначенные для составления топографических карт и фотограмметрического сгущения полевого обоснования. Фирма выпустила более десяти моделей: А-1, А-2, ... А-10, работающих с подобными связками проектирующих лучей (диапазон изменения фокусного расстояния – от 90 до 300 мм). Фотограмметрическая засечка в приборах строится с помощью проектирующих рычагов, наблюдение снимков

выполняется ортогональным лучом. Коррекционные механизмы отсутствуют, и проектирующие камеры наклоняются на углы α и ω . Большинство моделей автографов позволяет учесть влияние дисторсии, рефракции и кривизны Земли. Наиболее широкое применение имеют автографы А-7, А-8, А-9 и А-10.

Широко известны авиографы В-8 и В-9, а также стереоматы В-8, А-2000 фирмы Wild, фотостереограф Нистри и многие другие. Технические характеристики некоторых рассмотренных выше стереофотограмметрических приборов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики аналоговых стереофотограмметрических приборов

Наименование характеристик	Технические характеристики приборов			
	СД-3	СЦ-2	СПР-3	Стереометрограф
Формат снимков, см	18×18	18×18	18×18	23×23
f снимков, мм	55–210	55–500	35–350	98–215
F прибора, мм	130 ± 3	130 ± 3	150–300	Подобные связи
Увеличение системы	$4^x, 7^x$	7^x	$6^x, 10^x$	7^x
Увеличение м/М	0,5–3,0	0,5–6,0	0,5–2,0	0,1–5,0
Наклон снимков	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 5^\circ$
Диаметр марки, мкм	30	30, 40	20, 60, 120, 180	40
Точность в плане, мкм	15	15	10	10
Точность по высоте	H/5000	H/5000	H/8000	H/7000
Габариты, см	135×105×125	110×135×140	116×120×190	210×150×130
Масса, кг	400	550	800	1200

В настоящее время ресурсы аналоговых стереофотограмметрических приборов в части повышения точности и экономичности считаются исчерпанными, и основное внимание уделяется развитию аналитических приборов и цифровых систем.

3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Аналитический фотограмметрический прибор (АФП) представляет собой сочетание измерительного устройства на базе высокоточного стереокомпаратора с вычислителем. В таком приборе для по-

строения фотограмметрической модели применяются строгие математические зависимости, учитываются искажения снимков, характер влияния которых описывается математическими зависимостями, снимаются все ограничения на параметры съёмочной камеры, автоматизируются некоторые операции, обеспечивается возможность представления результатов в любой картографической проекции и т.д.

В общем случае аналитический прибор включает несколько блоков (рис. 4), обеспечивающих измерение снимков, обработку данных и формирование выходной информации в виде плана, ортофотоснимка или каталога координат на магнитном носителе. Задача оператора сводится к наблюдению снимков, наведению измерительной марки на точки стереопары штурвалами X, Y, Z и выбору соответствующей программы обработки.

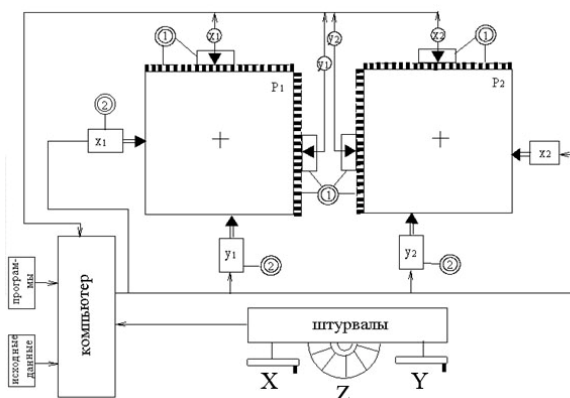


Рис. 4. Принципиальная схема аналитического фотограмметрического прибора (АФП).

Аналитический фотограмметрический прибор, принципиальная схема которого представлена на рис. 4, включает:

- стереокомпаратор 1, служащий для стереоскопического наблюдения и измерения стереопары снимков;
- компьютер с соответствующим программным обеспечением;
- штурвалы 2 X, Y, Z для перемещения кареток снимков стереокомпаратора. В некоторых системах вместо штурвалов используют трекбол, дигитайзер или другие устройства.

Стереокомпаратор аналитической стереофотограмметрической системы включает бинокулярную оптическую систему наблюдения с

измерительными марками и измерительные системы снимков стереопары, каждая из которых содержит каретку снимка, выполненную с возможностью перемещения по осям x и y . В некоторых системах по одной из осей перемещается наблюдательная система. Каждая каретка снабжена датчиками координат x и y её положения и устройствами для её перемещения. Датчики координат и устройства перемещения кареток связаны посредством интерфейса с компьютером.

На осях вращения штурвалов X , Y , Z установлены крутовые импульсные датчики, через интерфейс связанные с компьютером. При вращении штурвалов датчики вырабатывают импульсы, число которых пропорционально углу поворота штурвалов. В зависимости от числа, скорости поступления импульсов или направления вращения штурвалов компьютер вырабатывает команды на перемещение кареток стереокомпаратора или задаёт значение пространственных координат точек модели – X , Y , Z .

Первый аналитический фотограмметрический прибор (аналитический плоттер АП) был создан в 1957 г. фирмами ОМІ (Италия) и «Vendix» (США); математическая основа прибора была разработана финским фотограмметристом У.В. Хелава (U.V. Helava). В настоящее время выпускается ряд таких приборов, в том числе в странах СНГ.

Стереонаграф-6 – аналитический фотограмметрический прибор (АФП), разработанный Г.А. Зотовым (ЦНИИГАиК) и с 1991 г. выпускаемый на Украине (рис. 5). Снимки устанавливаются в кассеты стереокомпаратора 1 и наблюдаются через бинокулярный микроскоп 3. Наведение измерительной марки по осям X и Y выполняется ручным штурвалом 7 и ножным диском 6. Управление работой Стереонаграфа выполняется через пульт управления 2, ПЭВМ 4 и блок педалей 5. Возможны изменения размера измерительных марок, коэффициента увеличения изображений и др. Перемещения кареток и стандартные операции (внутреннее, взаимное, внешнее ориентирование снимков и др.) полностью автоматизированы. По результатам взаимного и внешнего ориентирования в положение наблюдаемых точек вводятся соответствующие поправки, и наблюдатель выполняет измерение неискаженной модели местности.

К конструктивным особенностям прибора относятся:

- совмещение координатных систем снимков с измерительной системой прибора и исключение тем самым углов поворота χ ;

– использование фотограмметрической системы с началом в левом центре проекции и осью X, совмещенной с проекцией базиса фотогафирования на горизонтальную плоскость ($\tau=0$);

– при наблюдении ориентированной модели измеряемыми являются величины x_l , y_l , p_0 и q_0 ; элементы внешнего ориентирования модели используются для коррекции положения левой и правой измерительных марок на величины δ_x и δ_y соответственно.

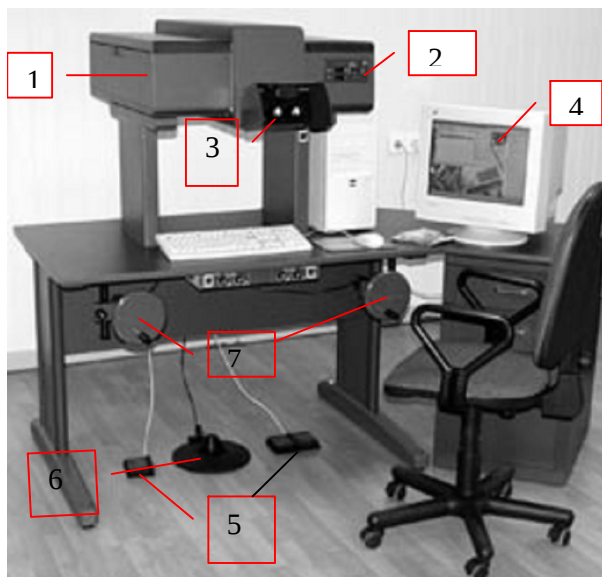


Рис. 5. Стереонаграф-6.

АФП SD-20 (рис. 6) – полный аналог аналитического прибора SD2000, выпускаемый в России по лицензии фирмы Leica. Модульная структура конструкции и концепция открытой системы позволяют использовать станцию SD для широкого спектра фотограмметрических задач – построения фотограмметрических сетей, создания цифровых моделей местности, топографических карт, сбора данных для ГИС, дешифрирования снимков и др. В отличие от стереонаграфа, SD-20 имеет два вычислителя, эксплуатируемых в операционных системах

DOS, UNIX и VMS. Один из компьютеров используется для управления работой прибора, а второй – для решения прикладных задач.



Рис. 6. АФП SD-20.

Технические характеристики аналитических фотограмметрических приборов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Технические характеристики аналитических фотограмметрических приборов

Наименование характеристик	Технические характеристики	
	Стереонаграф	SD-20, SD2000
Формат снимка, см	23×23	23×23
Увеличение наблюдательной системы	7–21 ^x	3–18 ^x
Поле зрения, мм	10–33	10–60
Ошибка измерения снимков, мкм	3	4
Масса прибора (без ЭВМ), кг	210	200

По ряду технико-экономических и, главным образом, технологических показателей аналитические фотограмметрические приборы уступают цифровым фотограмметрическим системам, поэтому производственные организации предпочитают последние.

4. ОБРАБОТКА СНИМКОВ НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ

4.1. Обработка снимков на аналоговых приборах

Основными процессами построения одиночной модели на универсальных фотограмметрических приборах являются: подготовительные работы, взаимное ориентирование снимков, внешнее (геодезическое) ориентирование модели, съёмка рельефа и контуров.

Подготовительные работы включают подбор исходных материалов и данных, расшифровку показаний специальных приборов при аэрофотосъёмке (статоскопа, радиовысотомера и др.), расчет установок прибора и подготовку его к работе.

Исходными данными для обработки снимков и построения модели являются параметры съёмочной камеры, копии аэронегативов на стекле (диапозитивы), контактные снимки с плановыми и высотными опорными точками, каталоги координат этих опорных точек, материалы дешифрирования, основа с нанесёнными на нее опорными точками и др.

Расчётными установками прибора являются базис проектирования, фокусное расстояние прибора, вертикальный и горизонтальный масштабы модели, параметры отображения положения точек модели на координатографе и др. Порядок, содержание расчетов и используемые для этого формулы определяются конструкцией прибора.

Подготовительные работы завершаются укладкой снимков в кассеты прибора, их центрированием и установкой на всех шкалах отсчётов, соответствующих местам нулей.

Несмотря на различия конструкций аналоговых стереофотограмметрических приборов, теория взаимного ориентирования снимков на них общая. Взаимное ориентирование снимков сводится к решению уравнения взаимного ориентирования методом приближений, путем устранения поперечных параллаксов на шести стандартно расположенных точках. В практике применяют несколько схем взаимного ориентирования; две из них приведены на рис. 7 для базисной (рис. 7, а) и линейно-угловой (рис. 7, б) систем элементов; в числителе дан порядковый номер точки, а в знаменателе – рабочее движение. При устранении параллаксов совмещение марки с поверхностью модели выполняют по оси xx' изменением высоты проектирования (ножным штурвалом Z), по оси yy' – наклоном или поворотом камеры.

Ориентирование выполняют последовательными приближениями, каждое из которых завершается введением децентраций в положение

левого и правого снимков стереопары. Взаимное ориентирование считают завершенным, если величина остаточного поперечного параллакса не превышает четверти диаметра измерительной марки прибора.

Внешнее (геодезическое) ориентирование модели выполняют по опорным точкам, расположенным по углам рабочей площади стереопары. Для ориентирования модели необходимы, как минимум, две точки с известными плановыми координатами и высотами, и одна – с известной высотой. Практически на каждую стереопару используют по 4 и более точек, расположенных согласно рис. 8.

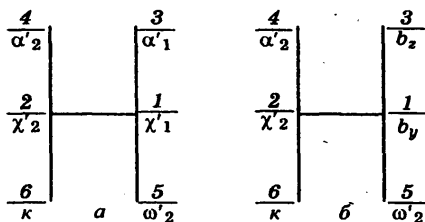


Рис. 7. Взаимное ориентирование движениями двух (а) и одной (б) камер.

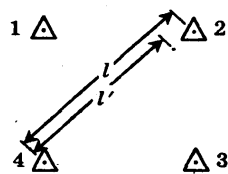


Рис. 8. Размещение точек для внешнего ориентирования.

На первом этапе ориентирования масштаб модели приводят к заданному (операция масштабирования), а на втором – выполняют наклон плоскости ОХУ фотограмметрической системы до совмещения ее с плоскостью $O_{г}X_{г}Y_{г}$ системы местности (горизонтирование).

Для приведения модели к заданному масштабу планшет ориентируют так, чтобы точка модели, соответствующая точке основы 4 (рис. 8), проектировалась точно, а вторая, соответствующая точке основы 2, проектировалась на прямую 4–2. Сравнение длин отрезков l и l' показывает, во сколько раз нужно увеличить (уменьшить) базис проектирования, чтобы горизонтальный масштаб модели соответствовал масштабу карты (плана).

При горизонтировании модели вначале выполняют ее разворот на угол ω вокруг линии центров снимков, а затем – на угол α вокруг линии 1–4. Для этого наблюдают точку модели 1 и на счетчике высот устанавливают ее отметку из полевых данных. Далее наблюдают точку 2, устанавливают на счетчике высот среднюю высоту из полевых и фотограмметрических данных и совмещают марку с поверхностью модели совместным поперечным наклоном левого и правого снимков. Аналогично добиваются соответствия геодезических и фотограмметрических высот по точкам 1 и 2, но теперь совмещение марки с по-

верхностью модели выполняют совместным продольным наклоном, после чего вводят децентрации.

Внешнее ориентирование считают законченным, если несовпадение точек основы с их проекциями при наблюдении модели не превышает 0,3 мм, а расхождения высот контрольных точек не превышают 0,2 сечения рельефа. При этом установленные децентрации снимков не должны отличаться от расчетных значений более чем на 0,1 мм.

Съёмку рельефа и контуров выполняют после завершения взаимного и внешнего ориентирования. Рисовку выполняют пишущим узлом координатографа на пластике или на бумажной основе вначале элементов гидрографии, затем горизонталей, и, наконец, контуров.

При рисовке горизонталей на счетчике высот устанавливают нужную отметку, и, наблюдая стереоскопическую модель и вращая штурвалы x и y , перемещают измерительную марку по поверхности модели. При рисовке элементов гидрографии и контуров измерительную марку удерживают на поверхности стереомодели, изменяя ее высоту вращением ножного штурвала.

Отбор отображаемых элементов и других параметров создаваемого плана (густота урезов, подписываемых высот и пр.) устанавливаются в соответствии с редакционными указаниями и действующими инструкциями по стереотопографической съёмке.

4.2. Обработка снимков на аналитических приборах

В целом технология обработки снимков на аналитических приборах не отличается от изложенной в подразделе выше, однако имеет ряд особенностей, связанных со спецификой компьютерной обработки.

Фотограмметрическая обработка снимков на аналитических фотограмметрических приборах включает следующие процессы:

1. Калибровку измерительных систем стереокомпаратора.

Калибровка выполняется с целью определения систематических ошибок для последующего их учёта при измерении снимков. Для калибровки используют специальную измерительную сетку, представляющую собой плоскопараллельную стеклянную пластину, на одной из поверхностей которой нанесена сетка крестов, координаты которых известны с высокой точностью (до 0,5 мкм). Измерительную сетку закладывают в каретку стереокомпаратора и измеряют координаты крестов в системе координат измерительной системы. Обычно при калибровке измеряют 25 крестов, равномерно расположенных на из-

мерительной сетке и определяют параметры аффинного преобразования. По значениям поправок v_x, v_y определяют средние квадратические ошибки измерения координат x и y (точность измерительных систем стереокомпаратора) по формулам

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \sqrt{\frac{[v_x^2]}{n}} \\ m_y &= \sqrt{\frac{[v_y^2]}{n}} \end{aligned} \right\},$$

где n – количество измеренных крестов.

Калибровка выполняется при установке аналитического фотограмметрического прибора и повторяется через 1–3 месяца.

2. Внутреннее ориентирование снимков.

Этот процесс выполняется для определения параметров положения и ориентации снимков в каретках стереокомпаратора. При выполнении внутреннего ориентирования также определяют параметры систематических искажений снимка, вызываемых деформацией фотоматериала.

При внутреннем ориентировании измерительная марка подводится к координатным меткам снимков автоматически, а задача оператора сводится к наведению на них измерительной марки и регистрации отсчетов.

3. Взаимное ориентирование.

Процесс взаимного ориентирования, выполняемый на аналитическом фотограмметрическом приборе, включает измерение координат точек, расположенных в стандартных зонах на стереопаре снимков, и определение значений элементов взаимного ориентирования по измеренным координатам точек.

Для облегчения работы оператора в большинстве аналитических фотограмметрических приборов предусмотрен режим автоматического наведения измерительных марок в стандартные зоны снимков стереопары. С этой целью в компьютер вводятся координаты центров стандартных зон в системе координат снимков стереопары. Задача оператора сводится к совмещению измерительной марки с поверхностью модели и регистрации отсчетов. По завершении наблюдений программа переходит к определению элементов взаимного ориентирования строгим способом. Для оценки выполненных измерений на экран компьютера выдаются величины остаточных поперечных параллаксов,

анализируя которые оператор может исключить некоторые точки, заменить их, повторить наблюдения и т.п.

4. Геодезическое ориентирование.

Процесс геодезического ориентирования модели включает измерение координат опорных точек в системе координат фотограмметрической модели и определение значений элементов внешнего ориентирования модели. При геодезическом ориентировании оператор вводит в память ЭВМ координаты опорных точек в системе координат местности и выполняет измерение их координат на снимках.

Для облегчения работы оператора в некоторых аналитических фотограмметрических приборах после измерения трёх опорных точек выполняется определение элементов внешнего ориентирования модели. Соответствующая программа вычисляет пространственные координаты опорных точек, составляет и решает систему уравнений под условием $[vv]=\min$ и находит элементы внешнего ориентирования модели. Стереоскопическое наведение измерительной марки на остальные опорные точки осуществляется автоматически. Оператор с помощью штурвалов X, Y, Z только уточняет наведение марки на изображение опорной точки и фиксирует её координаты в системе координат модели. После измерений каждой опорной точки вычисление значений элементов внешнего ориентирования модели повторяется.

При наблюдении стереоскопической модели программа автоматически построит эпиполярные изображения, при наблюдении которых оператор не обнаруживает поперечного параллакса.

5. Измерение координат и высот точек объекта (местности).

Этот процесс выполняется при создании карт, цифровых моделей рельефа и решении других измерительных задач, выполняемых по стереопаре снимков. При съёмке рельефа и контуров программа составит последовательности пространственных координат точек с наружными семантическими характеристиками.

На аналитических фотограмметрических приборах можно создавать регулярные цифровые модели рельефа (ЦМР) в виде сетки квадратов на местности и ЦМР в виде параллельных профилей.

Возможности аналитических фотограмметрических приборов определяются набором программ обработки результатов измерений. Поэтому техника исполнения перечисленных выше операций определяется конструктивными особенностями прибора и возможностями программного обеспечения.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятие об универсальных стереофотограмметрических приборах.
2. Аналоговые стереофотограмметрические приборы. Способы построения пространственной фотограмметрической засечки в универсальных фотограмметрических приборах.
3. Классификация аналоговых стереофотограмметрических приборов в зависимости от инструментальной точности.
4. Аналоговые универсальные приборы СД, СПР, стереометрограф и их характеристики.
5. Аналитические фотограмметрические приборы (АФП). Принципиальная схема АФП.
6. Аналитические фотограмметрические приборы стереоанаграф, SD-20. Конструктивные особенности, технические характеристики.
7. Обработка снимков на аналоговых приборах.
8. Обработка снимков на аналитических приборах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, А.С. Фотограмметрия: учеб. пособие для студентов вузов / А.С. Назаров. Минск: ТетраСистемс, 2006. 368 с.
2. Обиралов, А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: КолосС, 2006. 336 с.
3. Ильинский, Н.Д. Фотограмметрия и дешифрирование снимков: учебник для вузов / Н.Д. Ильинский, А.И. Обиралов, А.А. Фостиков. М.: Недра, 1986. 375 с.
4. Практикум по фотограмметрии и дешифрированию снимков: учеб. пособие для вузов / А.И. Обиралов, Я.И. Гебгард [и др.]. М.: Недра, 1990. 286 с.

Учебное издание

**Тамара Владимировна Шулякова
Светлана Николаевна Кандыбо**

**УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ
ПРИБОРЫ**

Лекция

Редактор Н.А. Матасёва
Техн. редактор Н.К. Шапрунова
Корректор А.М. Павлова

ЛИ №348 от 09.06.2009. Подписано в печать 10.11.2009
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага для множительных аппаратов.

Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».

Усл.печ.л. 1,16 . Уч.-изд.л. 1,04

Тираж 75 экз. Заказ . Цена 1750 руб.

Редакционно-издательский отдел БГСХА
213407, г. Горки Могилевской обл., ул. Студенческая, 2
Отпечатано в отделе издания учебно-методической литературы,
ризографии и художественно-оформительской деятельности БГСХА
г. Горки, ул. Мичурина, 5